

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО
МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА
ТРУДНОДОСТУПНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДСЕ ЖРД**

А.С. Мачихин, А.В. Горевой, В.И. Батшев, Д.Д. Хохлов, А.А. Наумов

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.Э. Пожар

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-технологический центр
уникального приборостроения РАН,
Россия, г. Москва, ул. Бутлерова, 15, 117342
E-mail: batshev_vlad@mail.ru

Работа направлена на развитие технологий производства изделий ракетно-космической техники (РКТ) за счет повышения эффективности (информативности, достоверности, эргономичности) неразрушающего контроля (НК) поверхностей их внутренних труднодоступных элементов. Предложена, разработана, реализована и экспериментально апробирована отечественная технология визуально-измерительного эндоскопического исследования. Впервые показано, что за счет применения априорной информации из конструкторской документации (КД), современных элементной (оптической, механической и электронной) базы и алгоритмов цифровой обработки данных позволяют создавать малогабаритные аппаратно-программные комплексы для расширения возможностей и преодоления ряда ограничений, которые имеют современные исключительно иностранные аналоги.

Контроль чистоты внутренних полостей является неотъемлемой процедурой на этапах производства, сборки и испытаний изделий деталей и сборочных единиц жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) и других изделий РКТ, качество проведения которой во многом определяет их штатное безаварийное функционирование. Несмотря на то, что ведущими предприятиями – производителями РКТ затрачиваются значительные усилия для развития методов НК внутренних полостей ЖРД, внедренные к настоящему времени подходы и приборы имеют существенные физические, практические и эргономические ограничения, не позволяющие обеспечить достаточную для принятия обоснованного решения точность измерений, степень автоматизации и производительность, что приводит к тому, что результаты контроля в итоге определяются, главным образом, опытом и квалификацией оператора. Поэтому актуальным и перспективным является разработка аппаратуры и методик НК, строго привязанных к КД, позволяющих снизить роль человеческого фактора и повысить объективность принятия решений о состоянии и дальнейшей эксплуатации ЖРД.

Для визуально-измерительного контроля деталей и сборочных единиц ЖРД в настоящее время применяют измерительные видеоэндоскопы [1-3]. Контроль труднодоступных объектов возможен благодаря малому диаметру рабочей части (зонда) видеоэндоскопа, который вводится в полость объекта контроля. К недостаткам современных измерительных эндоскопических приборов для контроля ЖРД относятся отсутствие возможности автоматической интерпретации регистрируемой сцены (выявления и классификации дефектов), отсутствие строгой связи получаемых данных с КД исследуемого узла, наличие ограничений при проведении наблюдения (глубина резкости и динамический диапазон) и измерений (зависимость погрешности от дальности, ракурса, освещенности и пр.) [4]. Этим, а также отсутствием производства такого оборудования в России, обоснована актуальность данной работы.

В настоящей работе впервые в России разработаны технология и оборудование, позволяющие проводить видеоэндоскопический измерительный контроль труднодоступных ДСЕ ЖРД. Предложенные методы, программные и конструкторские решения позволяют не только усовершенствовать известные решения, но существенно превзойти и повысить эффективность проведения НК и точность измерений за счет учета реального хода излучения в призмочно-линзовой оптической системе и данных КД исследуемого узла [3,5-7]. Авторами разработан ряд алгоритмов, позволяющих расширить возможности и преодолеть ограничения,

которые имеют современные (исключительно иностранные) приборы для измерительной видеоэндоскопии [8,9]. Научно-техническая значимость работы заключается в развитии методов НК труднодоступных ДСЕ ЖРД, а именно в повышении степени автоматизации и скорости их проведения, повышении достоверности и упрощении интерпретации регистрируемых данных. Полученный результат открывает новые направления развития исследований в науке и технике и может быть применен не только при производстве ЖРД, но и многих других сложных изделий ракетно-космической, авиационной и другой техники.

Значимость проекта заключается в том, что разработанный опытный образец может стать прототипом целого ряда компактных и недорогих видеоэндоскопических приборов для бесконтактного визуально-измерительного контроля внутренних полостей сложных технических объектов. Данные приборы могут найти широкое применение для неразрушающего контроля не только ЖРД, но и авиационных двигателей, парогенераторов, теплообменников и многих других объектов – тех, для диагностики которых в настоящее время используется исключительно зарубежная измерительная видеоэндоскопическая аппаратура, большая часть которой по функциональным возможностям уступает разработанному оборудованию. Внедрение разработанных технологии и оборудования интеллектуального машинного зрения позволит существенно повысить объективность и информативность НК ответственных ДСЕ и, как следствие, качество их изготовления и надежность их функционирования. Развитие предложенных методов и подходов позволит вывести отечественное приборостроение в области создания видеоэндоскопической измерительной техники на мировой уровень и закрепить мировой приоритет отечественного приборостроения в этой области науки и техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ключев В.В., Соснин Ф.Р., Ковалев А.В. Неразрушающий контроль и техническая диагностика: Справочник. // М.: Машиностроение, 2003. 656 с.
2. Мачихин А.С. Современные технологии визуально-измерительного контроля авиационных двигателей // Двигатель. 2009. № 1. С. 26-28.
3. Мачихин А.С., Батшев В.И. Проблемы создания стереоскопических объективов для видеоэндоскопов // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 7 (19). С. 45.
4. Мачихин А.С., Перфилов А.М. Применение методов трехмерного машинного зрения для повышения эффективности визуально-измерительного контроля внутренних полостей ЖРД. // Труды НПО «Энергомаш им. акад. В.П. Глушко», 2014. Т. 1. №31. С. 204-220.
5. A. Gorevoy, A. Machikhin. Optimal calibration of a prism-based videoendoscopic system for precise 3D measurements. // Computer Optics, 2017. V. 41(4). P. 536-546.
6. Gorevoy A.V., Machikhin A.S., Shurygin A.V., Khokhlov D.D., Naumov A.A. 3D spatial measurements by means of prism-based endoscopic imaging systems // ГРАФИКОН'2016 Труды 26-й Международной научной конференции. 2016. С. 253-256.
7. Горевой А.В., Мачихин А.С., Хохлов Д.Д., Батшев В.И., Калошин В.А., Перфилов А.М. Применение трассировочной модели оптико-электронной системы для повышения точности стереоскопических эндоскопических измерений. // Дефектоскопия, 2017. № 9.
8. A.V. Gorevoy, A.S. Machikhin. Method to improve accuracy of the geometrical parameters measurement in stereoscopic AOTF-based spectral imagers. Journal of Physics: Conference Series, 2015. V. 584. P. 012004.
9. Горевой А.В., Мачихин А.С., Перфилов А.М. Определение погрешности бесконтактного измерения площади дефектов на поверхностях сложной формы при видеоэндоскопическом контроле // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. № 4 (92). – С. 140–148.